

## 关于提高特高压换流站阀厅防火能力的研究

戴虎

国网经济技术研究院有限公司徐州勘测设计中心, 江苏 徐州 221000

[摘要] 文章为针对特高压直流输电工程中的阀厅火灾报警的设计进行研究, 随着技术的不断进步及革新, 阀厅火灾报警的设计也将日渐成熟, 文章作于±800kV 酒泉-湖南特高压直流输电工程建设期间, 文中绝大多数设计都已应用于本工程中。

[关键词] 特高压直流; 阀厅; 火灾报警; 吸气式感烟; 紫外火焰; 消防灭火

DOI: 10.33142/hst.v3i6.2970

中图分类号: TM211

文献标识码: A

### Research on Improving the Fire Prevention Ability of Valve Hall in UHV Converter Station

DAI Hu

Xuzhou Survey and Design Center of State Grid Economic and Technological Research Institute Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

**Abstract:** In order to study the design of valve hall fire alarm in UHVDC transmission project, with the continuous progress and innovation of technology, the design of valve hall fire alarm will become more and more mature. This paper is made during the construction of ±800KV Jiuquan Hunan UHVDC transmission project and most of the designs in this paper have been applied to this project.

**Keywords:** UHVDC; valve hall; fire alarm; inspiratory smoke sensing; ultraviolet flame; fire fighting

#### 1 现有阀厅消防情况简介

特高压换流站阀厅在正常运行时其内部会产生大量热量, 比较容易发生火灾。阀厅是直流输电系统重要的组成部分, 阀厅一旦起火会带来严重的经济损失。因此阀厅内部的火灾监测和报警系统非常重要。

为提高阀厅内火灾监测报警的准确性、可靠性, 阀厅火灾报警系统采用多种监测系统相结合的方式, 以确保消除监控死角。目前在建和已投运的换流站阀厅主要应用了 4 类火灾探测设备或系统: 极早期吸气式空气采样烟雾探测报警系统 (VESDA、盛赛尔、海湾等系列)、紫外火焰探测器、红外火焰探测器 (或紫外红外复合型火焰探测器) 及传统的烟感探测器。

VESDA 极早期吸气式空气采样烟雾探测报警系统具有探测范围广、灵敏度高优点。VESDA 通过主动抽取采样空气, 可以在非常早的阶段发现火灾前兆, 且不受气流影响, 可以为防止发生火灾赢得宝贵时间。但是, 目前已投运并应用 VESDA 的阀厅都或多或少的存在 VESDA 误报的情况。

紫外探测器通过对明火或电弧光谱进行分析, 判断是否有火焰或者电弧产生, 以此判断火灾的发生, 此类火焰探测器对明火及电弧十分敏感。紫外火焰探测系统作为 VESDA 极早期烟雾探测系统的补充, 可以在 VESDA 系统故障的情况下监测阀厅内部的运行状况, 并在发生火灾时发出警报。根据运行经验, 紫外探测器误报率较低, 但仍有误报的情况出现。

红外探测系统主要用来实时监测阀塔运行时阀厅内设备表面的温度, 并可以对异常温度过高部分发出警告提醒运行人员注意。

另外, 目前市面上存在一种紫外红外复合型火焰探测器, 其基本原理与紫外探测器、红外探测器相同, 复合型探测器结合了二者的优点, 适用范围广, 但价格较高。

传统的烟感探测器也是以室内是否有烟雾产生为判据确定火灾是否发生, 判据与极早期烟雾探测报警系统一致; 但它的适用环境为层高 12m 以下的建筑, 不适用于高大空间, 并且灵敏度相对极早期系统较低, 因此在极早期烟雾探测报警系统面世以后, 在换流站中已没有应用, 在建及已投运的特高压换流站阀厅中也以极早期系统代替了传统的烟感探测器。

阀厅建筑防火类别为丁类厂房, 不存在可燃材料。建筑围护结构、室内管道及保温材质均为不燃材质。室内阀塔设备运行时, 有可能产生放电现象, 损坏自身设备, 产生局部火情。

阀厅内设巡视走道, 覆盖了 Yy 及 Yd 换流阀组全部 6 座阀塔。当阀厅内发生火灾, 由消防监控中心接收到火灾报

警信号，系统断电后，通知消防灭火人员携带手提式或移动式灭火器进入阀厅巡视走道，对准着火点人工喷撒灭火，灭火介质为 CO<sub>2</sub> 干粉药剂。灭火设备放在在阀厅入口处。

灭火流程为：火灾探测报警-消防控制中心-消防控制中心确定火情-阀塔系统断电保护-通知消防人员灭火-消防灭火人员携带设备进场灭火-火灾后排出烟气。

消防灭火存在以下诸多弊端：

消防灭火流程多，反应时间长，增加了火灾发生的持续性，对设备保护不利。

人员携带灭火设备受体积重量限制，火情大时，无法达到所需灭火用气量要求。

人员携带灭火设备出气压力有限，灭火覆盖半径小，尤其针对阀厅阀塔这类高处安装设备发生火情点，人工喷洒无法保证火情点灭火气体浓度，保证有效阻燃，并能在规定的时间内灭除火情。

干粉式灭火药剂可以作为电气火灾的灭火介质，但是在巡视走道喷洒干粉药剂的方式下，干粉的覆盖面大，在灭火后的阀厅内清理工作工作量很大。

干粉式灭火器在灭火过程中会在设备表面形成一层玻璃状覆盖物，可能损坏换流阀的部件。

就目前已投运的换流站阀厅来看，先前的设计方案已不能完全满足实际运行的要求，因此，需要对设计方案进行对比分析及优化。

## 2 优化方案详述

### 2.1 方案叙述

投运阀厅的极早期报警发生误报的两大原因为：外界烟雾干扰和硬件设备故障。其中，外界烟雾干扰是主要需要解决的问题。由于换流站多处于开阔地带，常有附近农田因焚烧秸秆等造成的烟雾触发阀厅内 VESDA 的情况，故考虑通过屏蔽背景烟雾浓度值来提高 VESDA 极早期空气采样系统的准确率。

VESDA 极早期空气采样系统在探测到烟雾颗粒，且烟雾水平达到扫描报警阈值时，系统将会利用回转阀依次扫描某扇区或各扇区，以确定烟雾来自哪个（或哪几个）扇区。显示器上可显示报警状态（警告、行动、火警 1、火警 2），第一级“警告”表明系统已经检测出一些异常现象；第二级“行动”表明火灾隐患存在；第三级“火警 1”表明开始燃烧；第四级“火警 2”表明火警已处于热辐射阶段，当报警状态为“警告”与“行动”级别时，作为警示信号用于提醒巡检人员到现场确认，并将其传送至火灾报警主控制器主机上；当报警状态为“火警 1”或“火警 2”时，作为火警信号参与火灾自动报警的灭火联动，由火灾自动报警上传至 SCADA 系统，将其作为是否发出换流阀闭锁信号的一个重要依据。

在本优化方案中，考虑采用两套极早期空气采样系统加一套紫外探测器，即在先前的方案基础上增设一套灵敏度不同的 VESDA 极早期空气采样系统。本方案中 VESDA 采用火警 2（具体烟雾报警阈值需考虑保护区域的背景烟雾浓度值，保证探测器的末端采样孔吸入烟雾到探测器报警的时间小于 120S）作为火警信号参与火灾自动报警的灭火联动，但保护同一区域的两套 VESDA 空气采样需根据阀厅内背景烟雾浓度值设置火警 2 阈值范围内的两个值（例如：一套定义为火警 2 的 2.00%遮光率/米作为高灵敏探测器，一套定义为火警 2 的 5.00%遮光率/米作为低灵敏探测器），所有探测器的背景烟雾浓度值应参考出风口探测器所探测到的背景烟雾浓度值作为参考，以防止外界空气对保护区的影响，防止误报警现场的发生。阀厅属于高大空间环境，对于一个典型高端或低端阀厅保护可采用 9 台探测器，阀厅屋架层设置 6 台探测器，中部设置 1 台探测器，出风口设置 1 台探测器，回风口设置 1 台探测器。出风口（新风口）设置的探测器取样得到的烟雾浓度做为阀厅内部空间环境的背景烟雾浓度值，阀厅空间探测器的报警烟雾浓度值通过后台软件自动调整阀厅空间探测器报警烟雾浓度值，使之符合实际情况，从而有效的避免了由于背景环境烟雾浓度值偏高所造成的误报警（即防止外界环境的干扰，如燃烧秸秆的烟雾以及雾霾天气）；回风口作为阀厅内所有空气的回风口，在此设置 1 台探测器可防止由于阀厅内空调系统带动空气流动的稀释现象而造成的漏报。

两套极早期报警系统与一套紫外火焰探测系统的信号在后台进行三取二后，报警事件可以按以下两种情况分析：

A. 一套极早期或一套紫外报警：此时仅报警提醒现场人员而不动作；

B. 两套极早期报警，紫外没报警：由于是两套极早期同时报警，此时我们得到的是阀厅内产生烟雾的报警，可以认为有尚未产生明火的火灾正在发生。该情况下，有些极早期系统是受到背景烟雾的影响（如秸秆燃烧）而报警，则存在两套系统同时误报的可能，三取二的结果是屏蔽了紫外探测系统的报警信号，在没确认明火或电弧发生的情况下闭锁阀，则有可能是误判，等同于只装设了极早期报警；同一位置采用两台探测器（阀厅内增设 9 台），即可提供报警

的准确性同时可防止探测器故障或误动作。

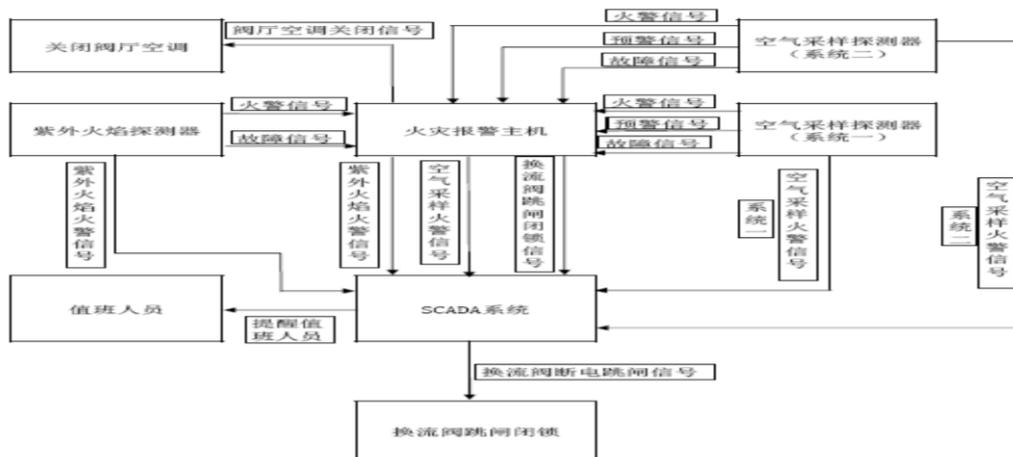


图1 阀厅消防报警系统联动原理框图

## 2.2 闭锁条件

目前，已投运及在建的特高压换流站阀厅内均不考虑阀塔的设备闭锁。根据现有实际情况分析，当阀厅内有火灾事故发生时，对换流阀进行跳闸闭锁是十分必要的。但在原有的火灾报警设计中，设备误报率较高，不适合换流阀闭锁联动。优化后的本方案其报警可靠性及准确性大大提升，在正常运行环境下可以实现换流阀的联动闭锁。

按照本设计方案，阀厅内的极早期空气采样系统为两套，且灵敏度不同。在屏蔽背景烟雾的情况下，当两套极早期系统均发出火灾报警信号且紫外探测器亦发出报警信号时，可以确认为阀厅内有火灾事故发生，则火灾报警控制器接收到动作信号向联动模块发出“切非”指令，同时将事故信号上传至SCADA系统，此时后台可以对换流阀进行跳闸闭锁。

## 2.3 信号上传

以往换流站阀厅空气采样系统和紫外火焰探测系统报警信号是由空气采样探测器或紫外火焰探测器报警端口发出报警信号（干接点信号），通过火灾报警系统监视模块接收，然后上传到火灾报警系统主机。火灾报警主机在收到现场空气采样探测器或紫外火焰探测器报警信号后，通过控制模块发送阀厅报警信号到SCADA系统。

如果火灾报警主机由于故障不能正常运行，那SCADA系统将无法收到阀厅报警信号。

现阀厅需要通过空气采样报警信号和紫外火焰探测器报警信号来联动换流阀跳闸闭锁，如采样上述信号传输方案，会存在因火灾报警主机故障，SCADA系统无法接收到阀厅空气采样探测器和紫外火焰探测器的报警信号，也无法接收到由火灾报警主机发送的阀厅换流变跳闸闭锁信号。

正常情况，火灾报警控制器的误报是极低的，通常是现场探测器及现场监视、联动模块故障率相对高一点。在以往的工程中，未遇见火灾报警控制器做热备用的情况。我们可以采用将阀厅空气采样探测器探测信号和紫外火焰探测器探测信号通过继电器将报警信号（干接点信号）分为两组信号，分别传送到火灾报警主机及SCADA系统，这样火灾报警主机和SCADA系统都能接收到阀厅空气采样探测器和紫外火焰探测器的报警信号。如阀厅空气采样探测器和紫外火焰探测器探测到报警信号，火灾报警主机可以接收到的阀厅空气采样探测器和紫外火焰探测器报警信号，通过控制模块将空气采样报警信号及紫外火焰探测器报警信号发送给SCADA系统，提醒值班运行人员，并且根据逻辑关系判断阀厅是否发生火灾，如确定为火灾，由火灾报警主机通过控制模块发送阀厅换流阀跳闸闭锁信号给SCADA系统，SCADA系统去联动阀厅换流阀跳闸闭锁。同样，SCADA系统也能接收到空气采样探测器和紫外火焰探测器的报警信号，SCADA系统收到报警信号后提醒运行值班人员，并且根据逻辑关系判断阀厅是否发生火灾，如确定为火灾，直接发送阀厅换流站跳闸闭锁信号。

如果火灾报警控制器故障，SCADA系统可以通过直接接收阀厅现场火焰探测器和空气采样探测器的探测信号来联动换流阀闭锁，故不一定要火灾报警控制器做热备用才能保证阀厅消防控制。

## 2.4 探测系统分析

### 2.4.1 紫外探测器保护面计算

单只探测器保护面积图（紫外轴线视距为 45 米，红外、红紫外复合轴线视距为 60 米）：

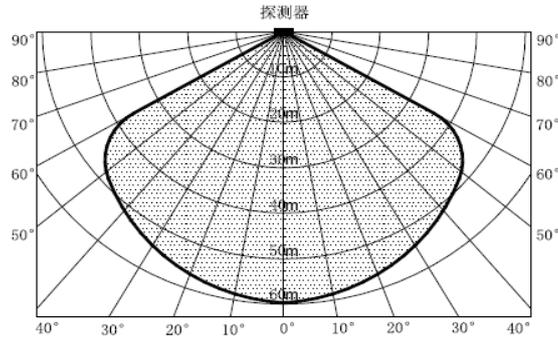


图 2 单只探测器保护面积图

主体保护对象：本工程主体保护对象为换流阀及换流变阀侧套管，最大轴线视距为 28 米，完全覆盖在探测器的轴线视距 45 米内。

高、低压阀厅全面积保护计算：本项目火焰探测器水平/垂直方向安装角度均为 45 度，通过计算可知，垂直轴线方向上映射在垂直方向上，其保护距离均为  $45 \text{米} * \cos 45^\circ = 32 \text{米}$ ，在平面图中，综合垂直方向安装角度和水平面安装角度，投影在水平/垂直方向保护距离为  $45 \text{米} * \cos 45^\circ * \cos 45^\circ = 22 \text{米}$ 。我们在平面设计时，取最小值 22 米为参考值，即单个火焰探测器在水平/垂直方向均能至少能保护 22 米范围内的空间，因此得出保护范围示意图如下：

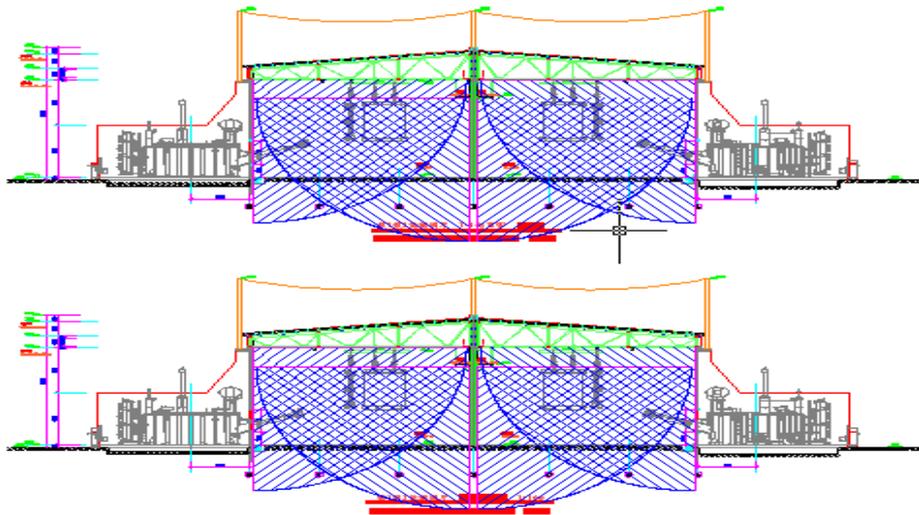


图 3 探测器保护范围剖面示意图

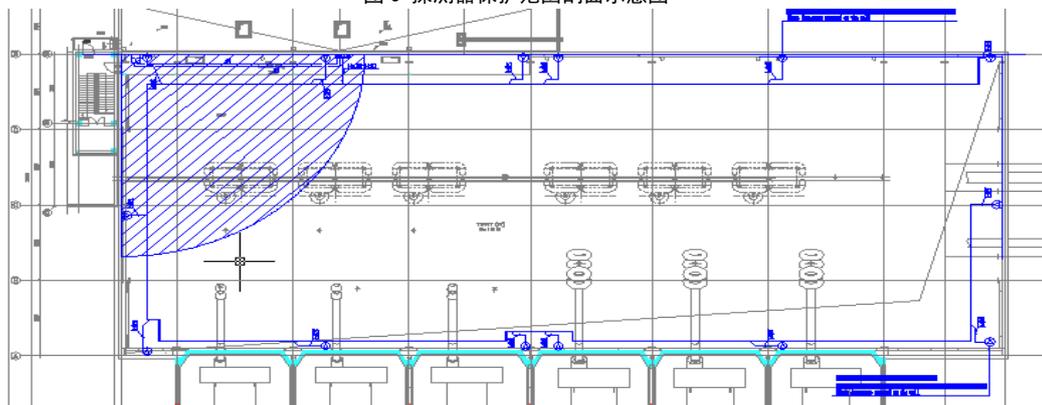


图 4 探测器的保护范围平面示意图

上部第一个探测器的保护范围平面示意图

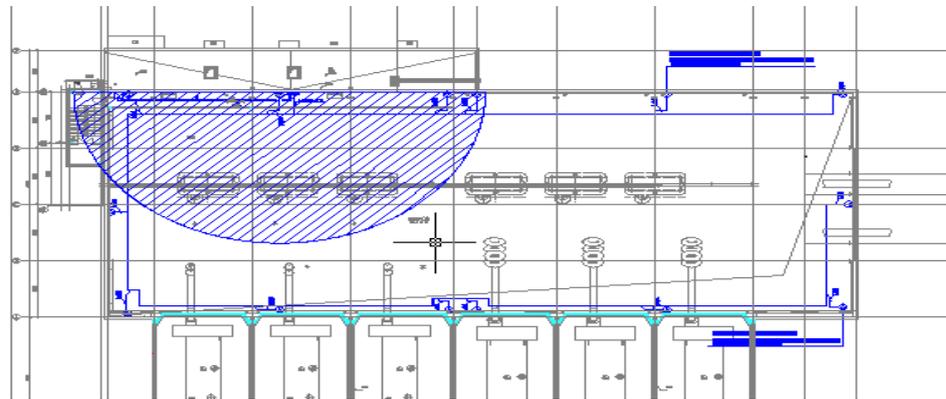


图5 探测器的保护范围平面示意图

上部第二个探测器的保护范围平面示意图

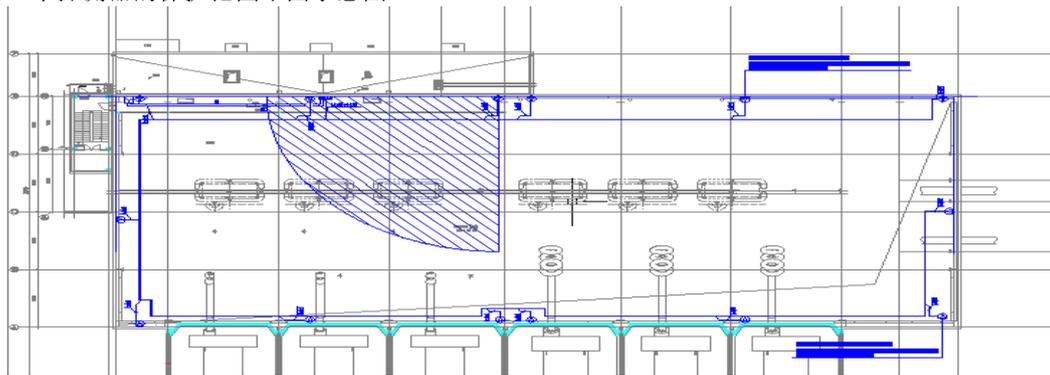


图6 探测器的保护范围平面示意图

上部第三个探测器的保护范围平面示意图

#### 2.4.2 极早期报警系统分析

极早期空气采样报警系统是基于高灵敏度吸气式感烟探测器而诞生的技术。高灵敏度吸气式感烟探测器如图所示（以威士达高灵敏度吸气式感烟探测器设备为例），主机内有抽气泵、气流传感器、激光探测腔、数据处理板等。系统在高效抽气泵的作用下，通过伸向保护区的管道网络连续不断地抽取空气样品，气样首先经过二级过滤器，将灰尘滤掉，然后进入激光探测腔，在探测腔内特定的位置上安装有激光源及接收器，激光源发出的光束照射到空气样品上，如果有烟粒子存在，光束将产生散射，激光接收器接受散射的光信号。根据测得散射光的强弱变化，测量出空气样品中的烟粒子量。测量的信号经软件处理后，与预先设定的报警阈值比较，如达到某一报警阈值，则在显示器上给出相应的报警信号。

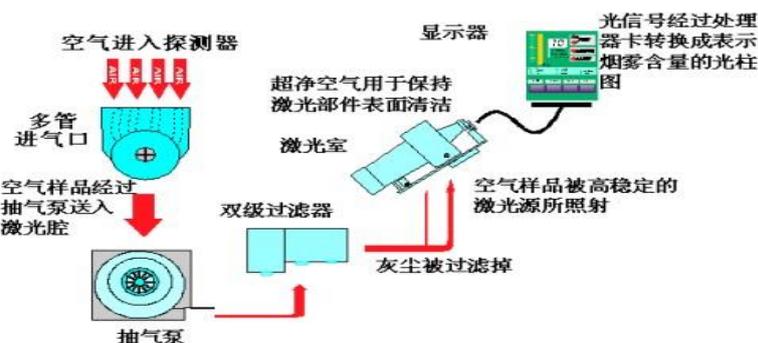


图7 极早期报警系统分析

## 2.5 现场试验

阀厅空气采样探测器和紫外火焰探测器安装完成后，需对空气采样探测系统和紫外火焰探测系统进行功能测试。

空气采样系统是主要探测的事烟雾，我在现场通过专业的加烟试验装置，在阀厅空气采样管道旁边进行加烟测试，测试空气采样探测器是否报警及报警响应时间。

紫外火焰探测器主要是探测电弧及明火等，在现场可以通过电焊机产生电弧光，测试紫外火焰探测器的是否报警及报警响应时间。也可以在紫外火焰探测器前方用明火测试，测试紫外火焰探测器是否报警及报警响应时间。

## 3 优化方案经济分析

### 3.1 VESDA 系统的增加费用

本方案在进行上述优化后，提升了原设计系统的可靠性，同时增加了相关的设备费用，增加一套极早期报警系统的费用如下：

表 1 极早期报警系统分析

一个阀厅增加设备材料（暂估数量）					
设备名称	型号	数量	单位	单价 (RMB)	总价 (RMB)
标准型空气采样探测器	VLP-400	9	台	26650.00	213200.00
VESDA 专用电源	PPS-004	9	台	1850.00	14800.00
PVC 管	DN25	1600	米	7.00	11200.00
PVC 管支吊架		2500	套	5.00	12500.00
PVC 管卡	DN25	1000	个	0.52	520.00
PVC 管接头	DN25	1100	个	0.52	572.00
末端堵头	DN25	32	个	6.00	192.00
小曲率 90 度弯管	DN25	260	个	10.00	2600.00
采样点标识（长）	DN25	640	个	1.00	640.00
FAS 软件编程		1	套	60000.00	60000.00
控制模块	FCM-1	5	个	470.00	2350.00
监视模块	FMM-1	40	个	350.00	14000.00
阻燃耐火屏蔽电缆	ZRAN-KVVP2 2*2.5	600	米	11.00	6600.00
阻燃耐火屏蔽电缆	ZRAN-KVVP2 3*2.5	400	米	13.00	5200.00
阻燃耐火屏蔽电缆	ZRAN-KVVP2 2*4	400	米	10.00	4000.00
阻燃耐火屏蔽电缆	ZRAN-RVSP2 2*1.5	800	米	9.50	7600.00
辅材		1	式	4000.00	4000.00
合计					388474.00

### 3.2 紫红外复合型探测器的增加费用

由于本工程考虑采用紫外火焰探测器与红外感温探测器，且目前市面上存在紫外红外复合型探测器的新产品，因此，可将其作为考虑方案。从阀厅的特殊性来说，适用性较好的探测器有紫外火焰探测器，紫红外复合型火焰探测器。（理论建议采用“或”关系的复合型探测器）

但从经济型角度，紫外火焰探测器的成本更经济。以奉贤-复龙、锦屏-同里、拉萨-格尔木等项目为例，紫外火焰探测器的单只成本价约为 6000 元人民币。

而紫红外复合的火焰探测器则价格高。以同类品牌探测器来说，价格预算应在单只 17000 元人民币左右。

### 3.3 经济分析

按照上述方案对比分析可知，单个阀厅增设的一套极早期空气采样系统需增加约 39 万元；单个阀厅改用紫外红外

复合型探测器需增加约 14 万元；单个阀厅增设局部灭火设备需增加约 9 万元。

由于紫红外复合型探测器目前技术仍不成熟，且单只造价过高，故本优化方案不建议采用该种复合型探测器。则本方案初步估算单个阀厅造价增加约 48 万元，总体增加约 200 万元。

[参考文献]

- [1]赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [2]中华人民共和国住房和城乡建设部. 高压直流换流站设计规范(GB/T 51200-2016) [Z]. 2017-07-01
- [3]公安部天津消防研究所和公安部四川消防研究所会同有关单位. 建筑设计防火规范(GB 50016-2014)[Z]. 2015-05-01
- [4]中华人民共和国电力行业标准. 电力设备典型消防规程 (DL 5027-2015) [Z]. 2016-04-24

作者简介：戴虎（1985.9-）男，毕业院校：东北大学，专业：自动化，单位：国网经济技术研究院有限公司徐州勘测设计中心，职务：电气设计，职称：工程师。